

Приведен обзор технических средств для измерения качества электрической энергии в сетях переменного тока, проведен анализ их пригодности для оценки соответствия качества электроэнергии действующим стандартам и определения степени ответственности за её ухудшение.

УДК 621.317

Д.В. Бородин

Харьковская национальная академия городского хозяйства

СРЕДСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Важнейшим условием экономичной и длительной эксплуатации электрооборудования, как у потребителей, так и на электроснабжающих предприятиях является нормальное качество электрической энергии (КЭ), требования к которому в Украине определены [1]. Низкое КЭ вызывает дополнительные потери в оборудовании, неправильный учёт электроэнергии, преждевременный износ, отключения и отказы оборудования, что приводит к значительным финансовым убыткам, в т.ч. к штрафам за срыв поставок и обязательств. В Украине по данным Института электродинамики НАН Украины снижение качества электроэнергии увеличивает её расход на 10-12%.

Исследования российских и отечественных специалистов и ученых [2-7] показывают актуальность и необходимость решения проблемы качества электроэнергии. Согласно [8] в результате измерений качества электроэнергии в сетях 0,4 кВ на 41 объекте были зафиксированы нарушения по установившемуся отклонению напряжения на 70 % объектов измерений, нарушения по несинусоидальности напряжения — на 63 % объектов измерений, нарушения по несимметрии напряжения — на 56 % объектов измерений, что позволило сделать вывод о том, что качество ЭЭ в сетях 0,4 кВ не соответствуют ГОСТ 13109-97.

Качество электроэнергии также становится предметом споров (имеющих финансовый характер) между поставщиками и потребителями электроэнергии. При этом, в отличие от России и стран Запада, отечественное законодательство и отраслевые нормативные документы не дают чёткого пути разрешения таких споров, особенно в условиях дефицита парка средств измерительной техники, пригодных для достаточно точного измерения показателей качества электрической энергии.

В последние годы всё актуальнее встаёт вопрос «кто виноват в плохом качестве электроэнергии?» и «что делать?». В [9] приведена методика количественного определения степени ответственности субъектов электрической сети за ухудшение качества электроэнергии на основе результатов измерения качества электрической энергии.

Целью работы является анализ доступных на рынке Украины средств измерения КЭЭ с точки зрения задач контроля её показателей и решения задачи определения ответственности субъектов электрической сети за её ухудшение. Рассмотрены как специализированные приборы для контроля качества электроэнергии, так и цифровые приборы, позволяющие измерять отдельные его показатели. Источником информации является эксплуатационная документация и технические характеристики приборов, опубликованные в сети Internet [10-16]. Многие компании-производители средств измерительной техники и контрольно-измерительной аппаратуры выпускают большую номенклатуру приборов для контроля качества электроэнергии, из продуктов таких компаний («Энерготехника», «SATEC», «Power Measurements») выбраны и включены в

таблицу средние по цене и функциональности, а также наиболее точные и функциональные изделия.

Основные характеристики приборов приведены в таблице 1.

Следует отметить, что возможность измерять напряжение и частоту и контролировать соответственно установившееся отклонение напряжения и частоту в сети имеют практически все современные 3-фазные цифровые измерительные преобразователи мощности и счётчики электроэнергии, а многие счётчики также способны регистрировать провалы напряжения. Поэтому контроль ключевых показателей качества электрической энергии, являясь важнейшей функцией автоматизированных систем диспетчерского управления и учёта электроэнергии, может и должен быть реализован уже сегодня в существующих системах без изменения парка измерительных приборов только за счёт использования нереализованных возможностей аппаратуры и программного обеспечения.

Сравнение данных таблицы данные позволяют сделать следующие выводы:

- все приведенные в таблице приборы, а также большинство современных цифровых 3-фазных счётчиков электроэнергии позволяет контролировать качество электроэнергии по отклонению напряжения, провалам и перенапряжениям; как правило, полученные таким образом сведения о недопустимо низком качестве электроэнергии требуют дополнительных исследований с помощью специализированных приборов;
- специализированные приборы (2-12) позволяют контролировать основные показатели качества электроэнергии (величина и колебания напряжения, частота, симметричные составляющие, высшие гармоники) и определять во многих случаях источники ухудшения её качества;
- для определения соответствия качества электроэнергии действующим на Украине нормам пригодны только приборы (2-6), разработанные с учётом требований ГОСТ 13109-97; приборы западной разработки, строго говоря, не пригодны для решения этого вопроса;
- приборы чётко делятся на 2 категории по способу монтажа и типу контроля: изделия (2), (4), (7), (8) предназначены для периодического контроля («подключил-померял-снял»), остальные — для непрерывного контроля;
- для точного решения задачи определения степени виновности в ухудшении качества электроэнергии пригодны приборы (2-5);
- полностью автоматическое (т.е. приборное), а, следовательно, объективное определение соответствия качества электроэнергии нормам ГОСТ 13109-97, по доступным данным и личному опыту автора, обеспечивает только прибор (1), который, таким образом, является наиболее подходящим аппаратным средством решения спорных вопросов, связанных с качеством электроэнергии.

Наличие большого выбора приборов с различными характеристиками и стоимостью, а также накопленный опыт в области контроля качества электроэнергии и его улучшения позволяет предложить следующую комплексную структуру аппаратных средств контроля качества ЭЭ (на примере облэнерго):

- непрерывный мониторинг качества следует осуществлять с помощью уже установленных счётчиков (например, (12)), цифровых измерительных преобразователей и микропроцессорных защит и автоматик по доступным показателям, используя в максимальной степени возможности автоматизированных систем, использующих эту аппаратуру на нижнем уровне;
- на узловых подстанциях на каждую секцию шин следует установить специализированные приборы контроля ПКЭ (3, 5, 6, 9 или 11); целесообразно установить такие приборы также на присоединениях «проблемных» потребителей с мощной нелинейной,

Таблица 1 Характеристики средств измерения качества электрической энергии

Параметр \ Прибор	ЦСИКЭ (СВНЦ НАН и МОН Ук- раины)	РЕСУРС UF2S (Энерго- техника)	РЕСУРС UF2M (Энерготех- ника)	БИМ/ПКЭ (ГОСАН)	ЭРИС- КЭ.06 (ЭРИС)	Fluke1760 Мемобокс (FLUKE)	Fluke435 (FLUKE)	PM172EH (SATEC)	PM296 (SATEC)	ION 7650 (PML)	ION 8500 (PML)	SL7000 (AC- TARIS)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Класс точности при измерении напряжения, тока, мощности, коэффициента мощности, частоты, электроэнергии	0,5			0,5	0,5S	0,1 по U в эталонных условиях	0,1 по U	0.2	0.2	0,2	0.2	0.2-1
Частота дискретизации, выборок/секунду	256					10.24 кГц		64	128	256	256	25
Хранение профиля нагрузки по активной и реактивной электроэнергии	•	•	•	•	•	Активная	•	•	•	•	•	•
Провалы питающего напряжения	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Коэффициенты несимметрии напряжения по нулевой, прямой и обратной последовательности	•	•	•	•	•	дисбаланс	дисбаланс	небаланс	небаланс	небаланс	небаланс	Небаланс
Коэффициенты гармоник	40	40	40	40	40	50	50	40	63	63	63	
Фликер	•	•	•	•		•	•	•			•	
Соответствие нормам ПКЭ	ГОСТ 13109-97	ГОСТ 13109-97	ГОСТ 13109-97	ГОСТ 13109-97	ГОСТ 13109-97	EN50160	EN50160	EN50160	EN50160	EN50160	EN50160	
Регистрация нарушений уставок ПКЭ	ГОСТ 13109-97			ГОСТ 13109-97	По напряжению	По напряжению	•	•	•	•	•	По напряжению
Обнаружение переходных процессов, мкс				1000	•	По внешнему сигналу с частотой выборки до 10 МГц	5	300	300	65	65	
Регистрация осциллограмм, максимум последовательных периодов для одной записи				120 с	50		1900	1280	2560	96	96	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Возможность синхронизации времени по GPS				Через СЛВС			•	•	•	•	•	
Интерфейсы	USB		1xRS-232, 1xRS-485, USB	СЛВС	1xRS-485	1xRS-232, Ethernet	1xRS-232, USB (опт.)	1xRS-232/485, 1x RS-485	1xRS-232/485, 1x RS-485	1xRS-232/485, 1x RS-485, оптопорт, Ethernet, модем	1xRS-232/485, 1x RS-485, оптопорт, Ethernet, модем	1xRS-232/485, 1x RS-232, оптопорт
Протокол обмена	АНТЭС		Ресурс	«чёрный ящик»	Эрис			Modbus RTU Slave	Modbus RTU Slave	Modbus RTU Slave, Master	Modbus RTU Slave, Master	DLMS-Cosem
Дискретные (+числоимпульсные) входы/выходы				До 64	-/2			6/2	12/6	16/7	11/12	2+4/4+6
Встроенный веб-сервер										•	•	
Математические, логические, тригонометрические, логарифмические, линеаризирующие формулы								•	•	•	•	
Одно- и многоусловные условия сигнализации								•	•	•	•	
Гармоники мощности	•	Можно вычислить по гармоникам тока, напряжения и фазовым сдвигам										
Анализ соответствия ПКЭ ГОСТ 13109-97 в отчёте	автоматически	вручную	вручную									
Вид контроля (Н — непрерывный, П — периодический)	П	Н	П	Н	Н	П	П	Н	Н	Н	Н	Н
Пригодность для определения ответственности за ухудшение КЭЭ	•	•	•	•								

резкопеременной или несимметричной нагрузкой; следует отметить, что приборы (9) и (11) не учитывают требований ГОСТ 13109-97;

- в случае возникновения спорных ситуаций, при проведении плановых мероприятий по улучшению качества электроэнергии (обычно это совмещается с другими мерами по энергосбережению) или при резком ухудшении качества необходимо провести углублённое исследование качества с помощью приборов (3, 5, 6, 9, 11). Для формирования экспертного заключения о соответствии качества электроэнергии действующим стандартам пригодны приборы (3, 5, 6), кроме того, проводящая измерения организация должна быть должным образом лицензирована, а приборы должны иметь метрологическую аттестацию. Как показывает практика, наиболее информативны и эффективны одновременные измерения качества во всех точках контроля обследуемого объекта (сети), для чего должно быть использовано соответствующее количество приборов.

С целью упрощения эксплуатации целесообразно использовать для разных целей различные приборы одного производителя, для проведения же экспертных оценок привлекать специализированные организации.

Такой подход позволяет при минимальных затратах на дорогостоящую аппаратуру осуществлять непрерывный мониторинг ключевых показателей качества по всей системе электроснабжения и проводить в то же время точные и тщательные измерения качества периодически и по необходимости.

Можно отметить следующие перспективы дальнейших исследований в данном направлении:

- поскольку не все особенности приборов можно узнать из технической документации и рекламных брошюр, с целью отработки наиболее целесообразного аппаратного типового комплекта приборов для контроля качества необходимо оборудовать достаточно крупный объект (узловую или магистральную подстанцию) приборами контроля ПКЭ различных моделей для выявления оптимальных для применения в наших условиях;
- в связи с быстрым прогрессом микропроцессорной техники и появлением новых моделей и производителей аппаратуры для контроля ПКЭ необходимо регулярно (не реже 1 раза в 2 года) производить сравнительный анализ аппаратных средств для контроля качества ПКЭ, при этом следует также уделять должное внимание программному обеспечению, так как именно оно в конечном итоге определяет удобство работы с аппаратурой и возможности обработки и анализа данных.

Литература

1. ГОСТ 13109-97 “Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения”.
2. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.
3. Суднова В.В. Качество электрической энергии. <http://www.test-electro.ru/publ.php>
4. Д.Чэпмэн. Цена низкого качества электроэнергии. Энергосбережение, 2004, №1.
5. Громадский Ю.С., Гриб О.Г., Бородин Д.В., Калужный Д.Н., Довгало О.Н. Снижение потерь электрической энергии, обусловленной её качеством, в системах электроснабжения. ПРОМЕЛЕКТРО, №2 2006 г., стр. 42
6. Бородин Д.В. Экспериментальные результаты исследования несинусоидальности напряжения на объектах водопроводно-канализационного хозяйства. Матеріали ІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції „Проблеми та перспективи енерго-, збереження житлово-комунального господарства”, м. Алушта, АР Крим, 5-9 червня 2006 р., с.94
8. О.Г. Гриб, А.В. Сапрыка, Д.В. Бородин. Анализ качества электрической энергии в сетях общего пользования 0,4 кВ. Світлотехніка та електроенергетика, №1, 03. 2007 р., с. 53

9. О.Г. Гриб и др. Качество электрической энергии в системах электроснабжения. – Харьков: ХНАГХ, 2006 г. – 272 с.
 10. НПП «Энерготехника» — www.entp.ru.
 11. ООО НТЦ «ГОСАН» — gosan.ru.
 12. ООО «ЭРИС» — www.eriskip.ru.
 13. Корпорация «Fluke» — www.fluke.ru
 14. Корпорация «SATEC» — www.satec.co.il.
 15. Корпорация «Power Measurement» — www.pwrm.com.
 16. Корпорация «SCHLUMBERGER INDUSTRIES» — www.slb.com.
-
-

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Наведено огляд технічних засобів для вимірювань якості електричної енергії в мережах змінного струму, проведено аналіз їхньої придатності для оцінки відповідності якості електроенергії діючим стандартам і визначення ступеня відповідальності за її погіршення.

THE POWER QUALITY METERS REVIEW

Review of technical means for metering of quality of electric energy in networks of an alternating current have been given, the analysis of their appropriateness for the conformity of power quality to actual standards and determination the degree of responsibility for quality deterioration has been shown.